

**This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representation of  
The original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication : **2 702 663**  
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **93 03152**

(51) Int Cl<sup>s</sup> : A 61 N 5/10 , H 05 H 9/02

12

## **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

**22 Date de dépôt :** 18.03.93.

**30** Priorité :

(71) **Demandeur(s) :** Société anonyme dite : *GENERAL ELECTRIC CGR — FR.*

**(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : 23.09.94 Bulletin 94/38.**

**56** Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Se reporter à la fin du présent fascicule.

**(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

⑦2 Inventeur(s) : Tronc Dominique.

**73) Titulaire(s) :**

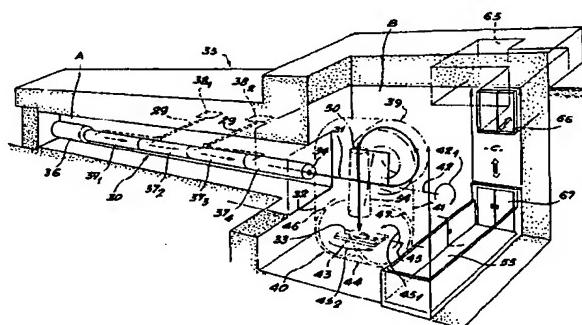
74 Mandataires : Cabinet Ballot-Schmit.

## **(54) Installation de protonthérapie.**

**(57)** L'invention concerne une installation de protonthérapie du type utilisant un accélérateur linéaire de protons qui fournit un faisceau de protons ayant des énergies et des intensités élevées.

L'invention réside dans le fait que le faisceau de protons (31) qui est fourni par l'accélérateur linéaire (30) est dévié de 270° dans son plan par un dispositif de déviation (39) de type magnétique vers un support (40) de patient comportant un lit (43) dont l'axe longitudinal (45) est parallèle au faisceau de protons sortant de l'accélérateur linéaire (30). Le support de patient et le dispositif de déviation tournent ensemble autour de l'axe (42) du faisceau de protons tandis que le lit (43) reste horizontal.

**L'invention est applicable à la radiothérapie.**



FR 2702663 - A1



## INSTALLATION DE PROTONTHERAPIE

L'invention concerne une installation de protonthérapie du type utilisant un accélérateur linéaire de protons qui fournit un faisceau de protons ayant des énergies et des intensités élevées.

5 Dans la demande de brevet déposée le 23 juillet 1991 sous le numéro 91 09292 par la demanderesse et publiée sous le n° 2 679 727, il a été décrit un accélérateur de protons à l'aide d'une onde progressive à couplage magnétique. Cet accélérateur comprend (figure 1) une  
10 source de protons 11 de type classique qui fournit sur sa sortie 15 un faisceau de protons, matérialisé par une flèche 16, flèche qui indique également le sens de propagation dudit faisceau. Le faisceau de protons 16 qui a, par exemple, une énergie voisine du MeV, pénètre dans une première structure accélératrice 12 à plusieurs cellules par un orifice d'entrée 17 où il est soumis à une première pluralité d'accélérations de manière à atteindre une certaine énergie, par exemple 10 MeV, à un orifice de sortie 18 (flèche 16<sub>1</sub>). Le faisceau de  
15 sortie 16<sub>1</sub> pénètre dans une seconde structure accélératrice 13 à plusieurs cellules par un orifice d'entrée 18' qui soumet le faisceau de protons à une seconde pluralité d'accélérations de manière à atteindre, à un orifice de sortie 19, une énergie  
20 supérieure à l'énergie d'entrée, par exemple 100 MeV (flèche 16<sub>2</sub>). Enfin, le faisceau de protons 16<sub>2</sub>, issu de l'orifice de sortie 19, pénètre dans une troisième structure accélératrice 14 à plusieurs cellules par un orifice d'entrée 20 où il est soumis à une troisième  
25 pluralité d'accélérations de manière à atteindre une énergie  
30 supérieure à l'énergie d'entrée, par exemple 200 MeV (flèche 16<sub>3</sub>).

énergie supérieure à l'énergie d'entrée, par exemple 200 MeV, à un orifice de sortie 21 (flèche 163).

Les trois structures accélératrices 12, 13 et 14 sont toutes du type à onde progressive à couplage magnétique, 5 couplage qui est matérialisé par des orifices 33 percés dans les parois transversales des cellules adjacentes, ces orifices étant traversés par une flèche 33<sub>1</sub> dont le sens indique celui du couplage magnétique.

Les trois structures accélératrices 12, 13 et 14 sont 10 alimentées en énergie hyperfréquence, par exemple à la fréquence 2.998 mégahertz, par une source 22 dont la borne de sortie 23 est connectée aux différentes structures accélératrices par des guides d'ondes 24, 25 et 26. La source d'énergie hyperfréquence 22 est, par 15 exemple, constitué d'un klystron associé à un modulateur de manière à fournir, par exemple, des impulsions d'une durée de 3 microsecondes environ et d'une puissance crête de 70 mégawatts environ.

L'accélérateur linéaire de protons qui vient d'être 20 décrit en relation avec la figure 1 peut fournir un faisceau de protons ayant une énergie de 200 MeV environ et une intensité moyenne de quelques microampères. Dans un tel accélérateur, les aspects difficiles à réaliser sont la focalisation du faisceau et la valeur élevée de 25 l'impédance shunt pour diminuer les pertes.

Dans la demande de brevet déposée le 22 mai 1992 sous le n° 92 06290 par la demanderesse, il a été décrit des perfectionnements à un tel accélérateur linéaire qui permettent l'obtenir une focalisation améliorée et une 30 impédance shunt élevée, ces perfectionnements consistant en des moyens magnétiques disposés à des emplacements déterminés le long et autour de la structure accélératrice pour créer des champs magnétiques de focalisation du faisceau de protons. En outre, pour

augmenter l'impédance shunt, les cellules accélératrices ont une forme particulière.

Les accélérateurs linéaires de protons qui sont décrits dans les demandes de brevets précités ont une longueur 5 d'une quinzaine de mètres pour un faisceau de sortie de 230 MeV, une puissance moyenne d'un kilowatt et un diamètre du faisceau de protons de l'ordre de quelques millimètres.

De tels accélérateurs linéaires de protons sont bien 10 adaptés à constituer la source de protons qui est nécessaire dans une installation de protonthérapie.

Le but de la présente invention est donc de réaliser une installation de protonthérapie qui incorpore un accélérateur linéaire de protons du type de celui décrit 15 dans les demandes de brevets français précités.

L'invention concerne une installation de protonthérapie caractérisé en ce qu'elle comprend :

- un accélérateur linéaire de protons du type à onde progressive et à couplage magnétique, ledit accélérateur fournissant à sa sortie un faisceau de protons d'énergie variable,
- un dispositif de déviation du faisceau de protons disposé à la sortie de l'accélérateur linéaire et réalisant une déviation dudit faisceau d'un angle de 270° dans un plan contenant l'axe du faisceau de protons,
- un support de patient dont l'axe longitudinal est parallèle à l'axe du faisceau de protons, qui est situé à une distance fixe de la face de sortie dudit dispositif de déviation et qui est solidaire de ce dernier,
- des moyens pour faire tourner ensemble ledit support de patient et ledit dispositif de déviation, autour de l'axe du faisceau de protons de manière à changer

l'orientation du faisceau de protons sortant dudit dispositif de déviation dans un plan perpendiculaire à l'axe du faisceau de protons, et

- des moyens pour faire tourner ledit support de patient 5 autour de son axe longitudinal au fur et à mesure de sa rotation autour de l'axe du faisceau de protons de manière que ledit support de patient reste horizontal. L'installation de protonthérapie peut comprendre, en outre, des moyens pour déplacer rectilignement le support de patient suivant son axe longitudinal ou pour 10 le déplacer angulairement par rapport audit axe longitudinal.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un exemple particulier de réalisation, ladite description étant faite en relation avec les dessins joints dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'un accélérateur linéaire de protons du type à onde progressive à couplage magnétique selon l'art antérieur;
- la figure 2 est une vue schématique en coupe et en perspective d'une installation de protonthérapie selon l'invention;
- la figure 3 est une vue schématique de face de l'ensemble dispositif de déviation-support de patient pour différentes positions de rotation;
- les figures 4-a et 4-b sont des vues schématiques montrant le dispositif de déviation de 270°, et
- la figure 5 est une vue schématique montrant une installation de protonthérapie comportant deux salles de traitement associées à un seul accélérateur linéaire de protons.

Dans les différentes figures, les mêmes références désignent des éléments identiques.

L'installation de protonthérapie selon l'invention comprend essentiellement, en référence avec la figure 2, un accélérateur linéaire 30 qui produit à sa sortie 34 un faisceau de protons 31 et un dispositif de positionnement 32 du faisceau de protons 31 par rapport à un patient à traiter 33 qui est disposé à proximité immédiate de la sortie 34 de l'accélérateur linéaire 30. L'ensemble constitué par l'accélérateur linéaire 31 et le dispositif de positionnement 32 est à l'intérieur 5 d'une structure 35 de protection contre le rayonnement émis qui est réalisée, par exemple, en béton armé. Cette structure 35 en béton armé comprend trois zones : une première zone A contenant l'accélérateur linéaire 30, une deuxième zone B contenant le dispositif de positionnement 32 et une troisième zone C qui sert 10 d'accès à la deuxième zone B.

Cette structure 35 en béton armé comprend trois zones : une première zone A contenant l'accélérateur linéaire 30, une deuxième zone B contenant le dispositif de positionnement 32 et une troisième zone C qui sert 15 d'accès à la deuxième zone B.

L'accélérateur linéaire 30 est de préférence du type de celui décrit dans les demandes de brevet français précitées, c'est-à-dire qu'il est à onde progressive et 20 à couplage magnétique et comporte des moyens magnétiques de focalisation du faisceau et des formes particulières de cavités qui conduisent à une impédance shunt de valeur élevée.

A titre indicatif, sur la figure 2, l'accélérateur linéaire comprend une source de protons 36 qui produit 25 un faisceau de protons à faible énergie, de l'ordre de quelques MeV, et une série de quatre structures accélératrices 37<sub>1</sub>, 37<sub>2</sub>, 37<sub>3</sub>, et 37<sub>4</sub> qui amplifient et focalisent le faisceau de protons pour qu'il atteigne 30 une énergie supérieure à 200 MeV à la sortie 34. Ces quatre structures accélératrices 37<sub>1</sub> à 37<sub>4</sub> sont alimentées en énergie hyperfréquence par deux sources 38<sub>1</sub> et 38<sub>2</sub> qui sont connectées aux structures 37<sub>1</sub> et 37<sub>2</sub> pour la source 38<sub>1</sub>, 37<sub>3</sub> et 37<sub>4</sub> pour la source 38<sub>2</sub> par des guides hyperfréquence 29.

Sur le schéma de la figure 2, on n'a pas représenté les supports de ces différents éléments constituant l'accélérateur linéaire mais ils sont réalisables par l'homme de l'art sans faire oeuvre d'invention.

5 Le dispositif de positionnement 32 du faisceau de protons 31 et du patient 33 comprend un dispositif de déviation 39 du faisceau de protons 31 et un support 40 du patient 33 qui sont solidaires l'un de l'autre par l'intermédiaire d'une structure mécanique rigide 41. Ce  
10 dispositif de positionnement 32 est monté sur un bâti, non représenté par souci de clarté de la figure, qui permet sa rotation autour de l'axe 42 du faisceau de protons 31 (flèche 42<sub>1</sub>).

Le dispositif de déviation 39 réalise une déviation ou  
15 rotation de 270° du faisceau de protons 31 dans le plan de ce dernier à l'aide d'un champ magnétique créé par un aimant. Un tel dispositif de déviation est décrit, par exemple, dans le brevet US 3 379 911.

Par ailleurs, la figure 4, qui sera décrite ci-après,  
20 montre une forme préférée d'un tel dispositif de déviation.

Le support 40 du patient 33 est constitué d'un lit 43 porté par une nacelle 44, représentée schématiquement par deux cerceaux 46 et 47, qui sont solidaires de la  
25 structure mécanique 41. L'axe longitudinal 45 du lit est parallèle à l'axe 42 du faisceau de protons 31. Le lit 43 et la nacelle 44 sont prévus pour que le lit tourne (flèche 45<sub>1</sub>) autour de son axe longitudinal 45 et se déplace linéairement suivant cet axe et angulairement  
30 par rapport au même axe (flèche 45<sub>2</sub>). Les moyens pour effectuer ces rotations du lit et son déplacement longitudinal n'ont pas été représentés sur la figure 2 par souci de clarté. De tels moyens sont à la portée de l'homme de l'art.

La nacelle 44 est ouverte à une extrémité pour permettre d'une part, la mise en place de patient dans la nacelle et, d'autre part, sa mise en place par rapport au faisceau de protons dévié.

5 Le dispositif de déviation 39 est constitué, de préférence selon la figure 4, par un électro-aimant torique 48 à section carrée qui s'étend sur un secteur de 270°. Cet électro-aimant, en forme d'anneau, présente une face d'entrée 49 sur l'axe 42 du faisceau de protons  
10 et une face de sortie 50 de laquelle sort le faisceau de protons. Selon la figure 4b, cet électro-aimant est composé d'un circuit magnétique 56, en forme de la lettre C, qui comporte une bobine 53, un entrefer 52 et une chambre à vide 57 permettant la circulation du  
15 faisceau de protons 31.

On peut aussi envisager un électro-aimant en forme de la lettre H, ce qui a pour effet de diminuer les débordements du champ magnétique mais d'accroître la longueur de la bobine.

20 Pour une énergie du faisceau de protons de 235 MeV, le rayon de courbure R du faisceau est de 1,3 mètre et l'induction doit être de 1,7 Tesla. Le côté de l'aimant en forme de C est de l'ordre de 0,2 mètre. Le triple foyer de protons est situé à  $2,74 R = 3,5$  mètres de la face de sortie 50 du dispositif de déviation. Ceci signifie que le patient doit être à 3,5 mètres de cette face de sortie.

25 De telles dimensions permettent de réaliser une nacelle 40 qui a un diamètre de 2,5 mètres, ce qui facilite l'accès du patient et les déplacements linéaire et angulaire du lit 43.

30 Entre la face de sortie 50 et le patient 33 sont disposés un certain nombre d'éléments représentés globalement par le tronc de cône 54. Ces éléments

servent à "médicaliser" le faisceau de protons, c'est-à-dire à le présenter sous la forme optimale pour une thérapie appropriée à la tumeur à soigner.

5 Ces éléments sont connus par ailleurs dans d'autres appareils de radiothérapie et ne sont pas décrits ici de manière plus détaillée.

Selon la position de la tumeur à soigner, le faisceau de protons devra pénétrer dans le corps du patient selon un angle d'incidence déterminé dans un plan -vertical 10 contenant le faisceau dévié 50 et par rapport au plan horizontal du lit. Ceci est obtenu en tournant le dispositif de positionnement 32 autour de l'axe 42 tout en maintenant horizontal le lit 43. On obtient ainsi par exemple les positions  $P_0$ ,  $P_1$  et  $P_2$  de la figure 3. 15 Ainsi, dans la position  $P_0$  le faisceau est face au patient couché sur le dos et perpendiculaire au lit ; dans la position  $P_1$ , le faisceau est d'un côté de patient et à  $45^\circ$  par rapport au lit ; dans la position  $P_2$ , le faisceau est sur le flanc de patient et est 20 parallèle au lit et ainsi de suite.

Par ailleurs, en déplaçant angulairement le lit par rapport à son axe longitudinal 45, on modifie l'angle d'inclinaison du faisceau de protons par rapport à cet axe longitudinal et donc au corps du patient. Enfin, en 25 déplaçant linéairement le lit le long de son axe longitudinal, on choisit la partie du corps à traiter.

Etant donné les dimensions indiquées ci-dessus, la pièce dans laquelle doit tourner le dispositif de positionnement 32 doit être un cube de 7 mètres de côté 30 environ. De telles dimensions conduisent à prévoir un accès particulier à ce cube qui constitue la salle de traitement. Ainsi, si le niveau d'accès est situé près du plafond de la salle de traitement, alors la nacelle 40 dans sa position  $P_0$  est à un niveau

inférieur, position  $P_0$  qui est celle de mise en place du patient. Pour y accéder, le patient devra descendre du niveau d'accès à celui de la nacelle et ceci est obtenu, par exemple, par un ascenseur 55 à l'intérieur de la structure en béton armé.

Cet ascenseur 55 se déplace entre un niveau d'accès haut au bout d'un couloir 65 fermé par une porte 66 et un niveau bas, celle de la position  $P_0$  de la nacelle, niveau qui comporte une porte de secours 67.

Afin d'obtenir un temps d'utilisation optimal de l'accélérateur linéaire de protons, l'invention propose de disposer deux salles de traitement "en série" sur le faisceau de protons comme le montre la figure 5, chaque salle comportant un dispositif de positionnement identique à celui décrit en relation avec les figures 2, 3 et 4. Cependant, pour des aspects de sécurité, notamment la protection du patient contre les rayonnements, les accès aux salles de traitement et à la nacelle doivent être prévues en conséquence pour éviter que le patient ou toute autre personne ne vienne à subir un rayonnement intempestif.

A cet effet, la figure 5 montre schématiquement une implantation "série" de deux salles de traitement, la première, référencée 60 est disposée à la sortie de l'accélérateur linéaire 30 et la deuxième, référencée 61, à la suite de la première dans le sens de propagation du faisceau de protons et séparée de la première, par un mur de béton 62.

L'accès à la deuxième salle 61 est sensiblement identique à celui décrit en relation avec la figure 2 car le patient ou toute autre personne n'a pas à "croiser" le faisceau de protons dans son trajet.

Par contre, l'accès à la première salle 60 est prévu pour que le patient ne s'approche pas du trajet du faisceau de protons sortant de l'accélérateur linéaire ou de la première salle pour aller dans la deuxième.

## REVENDICATIONS

1. Installation de protonthérapie caractérisé en ce qu'elle comprend :

- un accélérateur linéaire de protons (30) du type à onde progressive et à couplage magnétique, ledit accélérateur fournissant à sa sortie un faisceau de protons (31) d'énergie variable,
- un dispositif de déviation (39) du faisceau de protons disposé à la sortie de l'accélérateur linéaire (30) et réalisant une déviation dudit faisceau (31) d'un angle de 270° dans un plan contenant l'axe de sortie (42) du faisceau de protons,
- un support (40) d'un patient (33) comportant un lit (43) dont l'axe longitudinal (45) est parallèle à l'axe de sortie (42) du faisceau de protons et qui est situé à une distance fixe de la face de sortie dudit dispositif de déviation et solidaire de ce dernier,
- des moyens pour faire tourner ensemble ledit support (40) de patient et ledit dispositif de déviation (39), autour de l'axe de sortie (42) du faisceau de manière à changer l'orientation du faisceau de protons sortant dudit dispositif de déviation dans un plan perpendiculaire à l'axe de sortie du faisceau de protons, et
- des moyens pour faire tourner ledit lit (43) autour de son axe longitudinal (45) au fur et à mesure de la rotation du support de patient autour de l'axe de sortie du faisceau de protons de manière que le lit reste horizontal.

30      2. Installation de protonthérapie selon la

revendication 1, caractérisée en ce que le dispositif de déviation (39) du faisceau de protons comprend un électro-aimant torique (48) en forme de la lettre C ou H dans l'entrefer (52) duquel est disposée une chambre à vide (57) s'étendant sur un secteur de 270° qui comprend une face d'entrée (49) recevant le faisceau de protons (31) sortant de l'accélérateur linéaire (30) et une face de sortie (50) par laquelle sort un faisceau de protons dont le trajet croise celui du faisceau d'entrée.

10  
15  
3. Installation de protonthérapie selon la revendication 2, caractérisée en ce que des moyens (54) de mise en place et de réglage du faisceau de traitement du patient sont disposés entre la face de sortie (50) de l'anneau torique et le support (40) de patient et sont solidaires dudit dispositif de déviation.

20  
25  
4. Installation de protonthérapie selon la revendication 1, 2 ou 3, caractérisée en ce que ledit support (40) de patient et ledit dispositif de déviation sont solidaires l'un de l'autre par l'intermédiaire d'une structure métallique, ladite structure métallique étant montée sur un support comportant lesdits moyens de rotation.

30  
5. Installation de protonthérapie selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que le support (40) de patient comprend des moyens pour, d'une part, déplacer rectilignement le lit suivant sur son axe longitudinal (45) et, d'autre part, pour le déplacer angulairement par rapport audit axe longitudinal.

6. Installation de protonthérapie selon l'une quelconque des revendications précédentes 1 à 5, caractérisée en ce

qu'elle comprend une structure (35) en béton armé constituée :

- d'une première zone (A) dans laquelle est disposé l'accélérateur linéaire de protons (30),
- 5 - d'une deuxième zone (B) dans laquelle sont disposés ledit dispositif de déviation (39) du faisceau de protons, le support (40) de patient et les moyens associés, et
- une troisième zone (C) servant d'accès à la deuxième zone (B).

10

FIG. 1

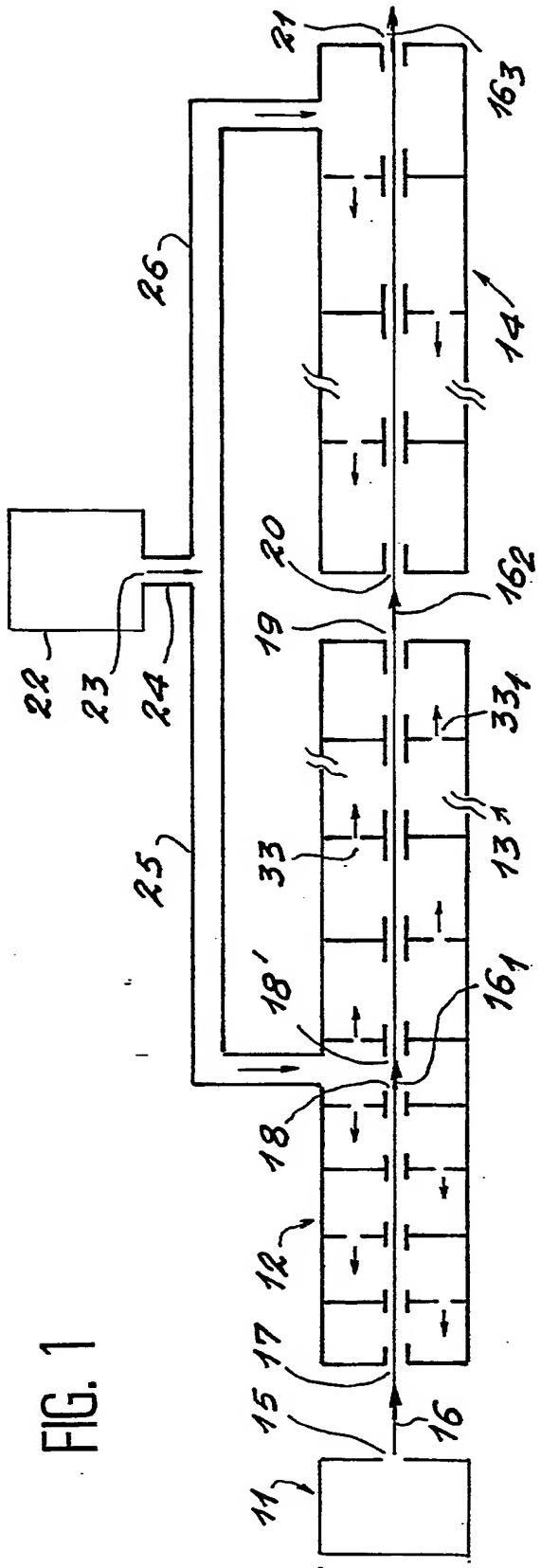


FIG. 3

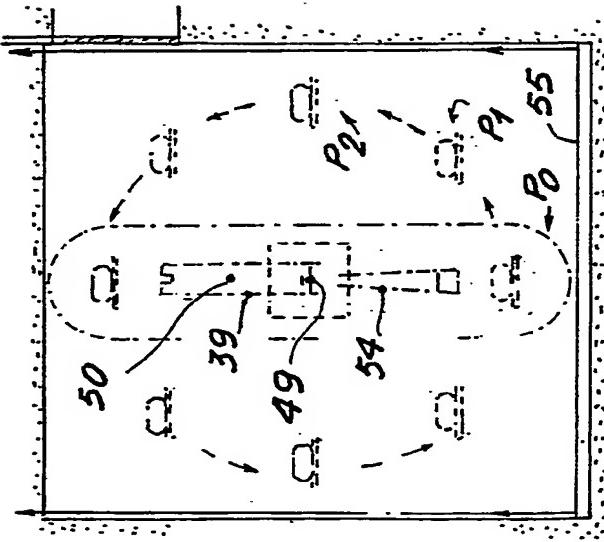


FIG. 4 a

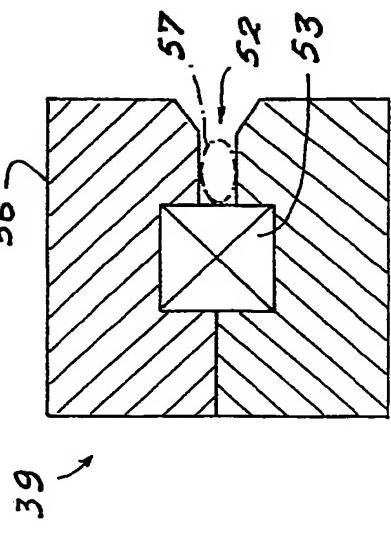


FIG. 4 b

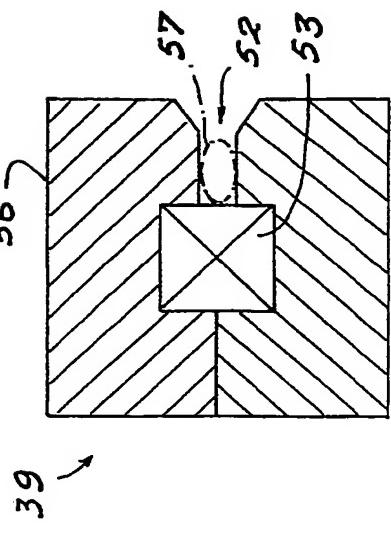
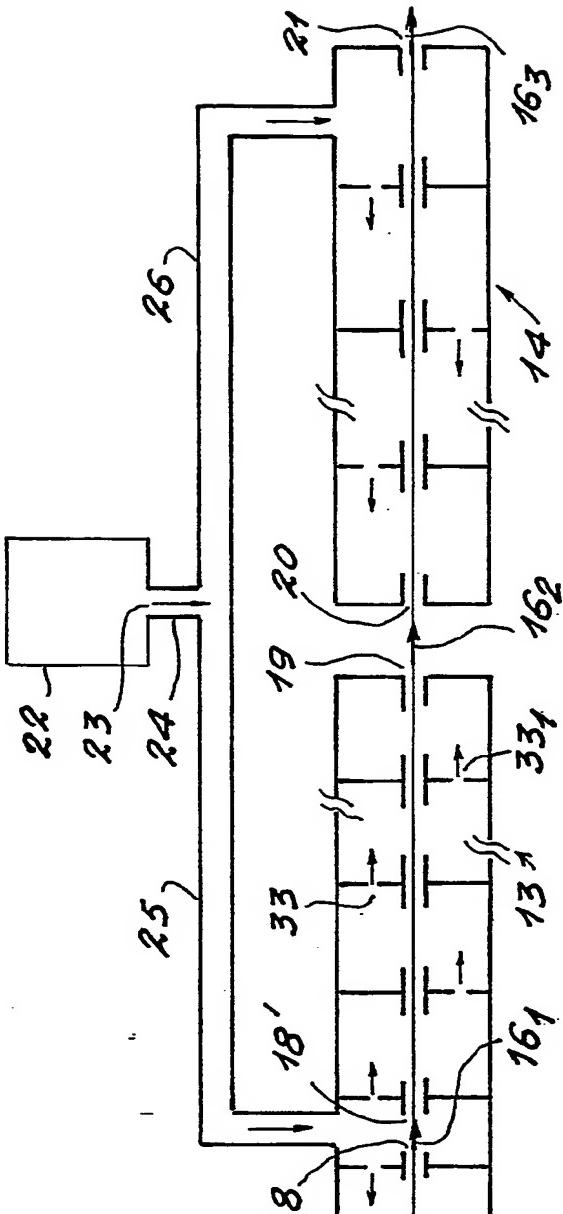
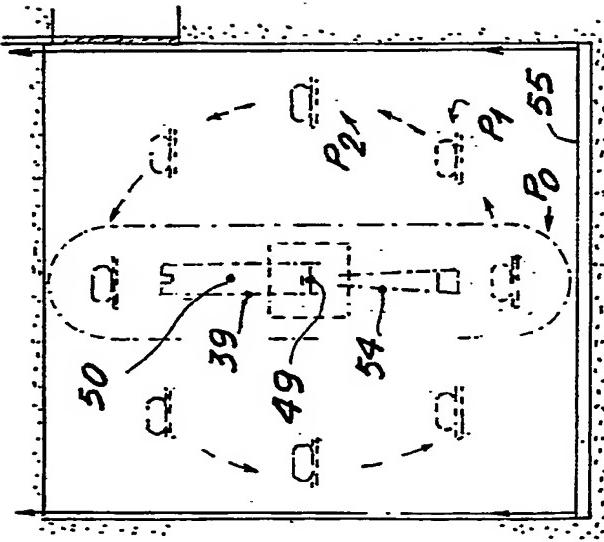
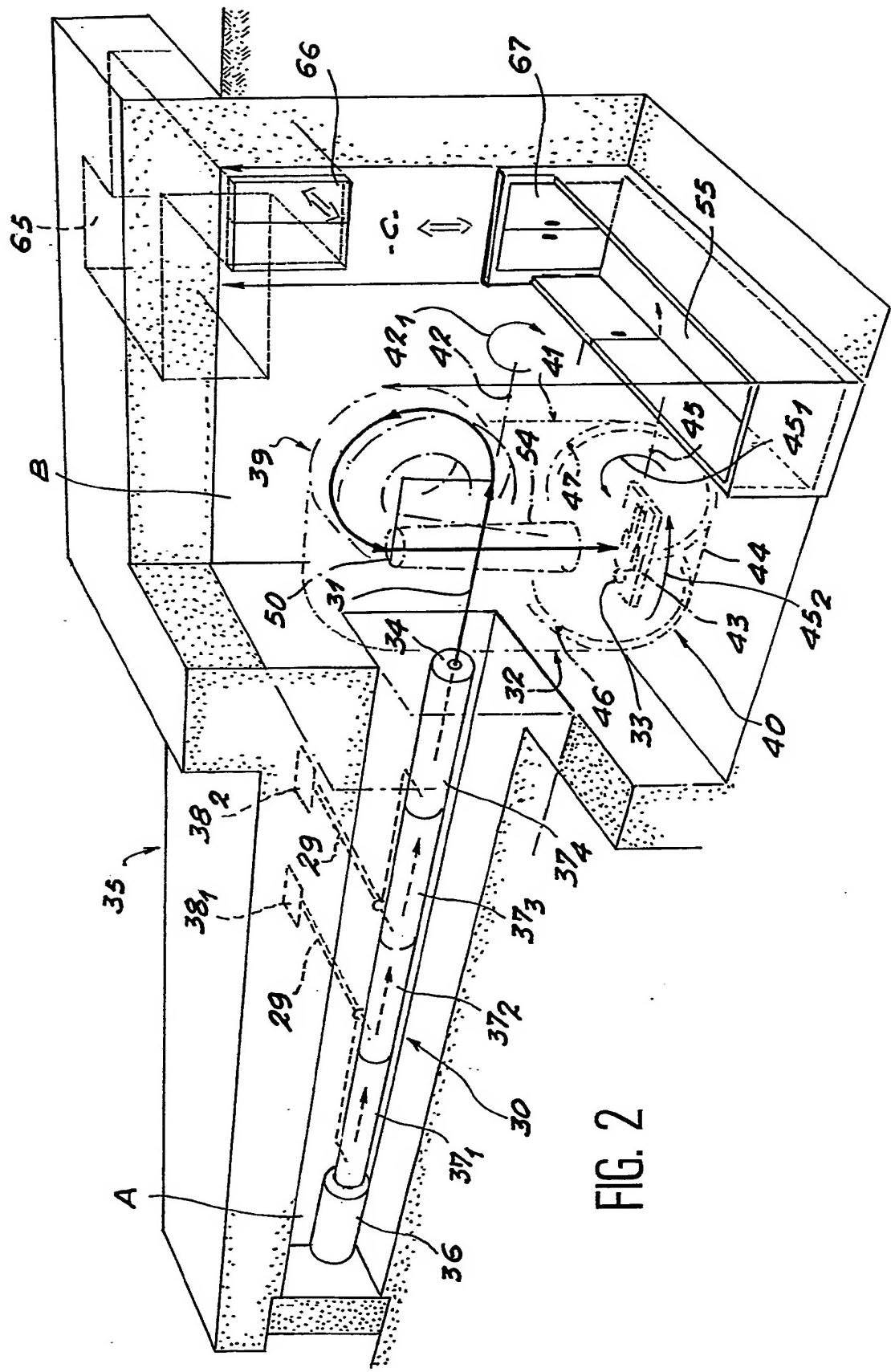


FIG. 3





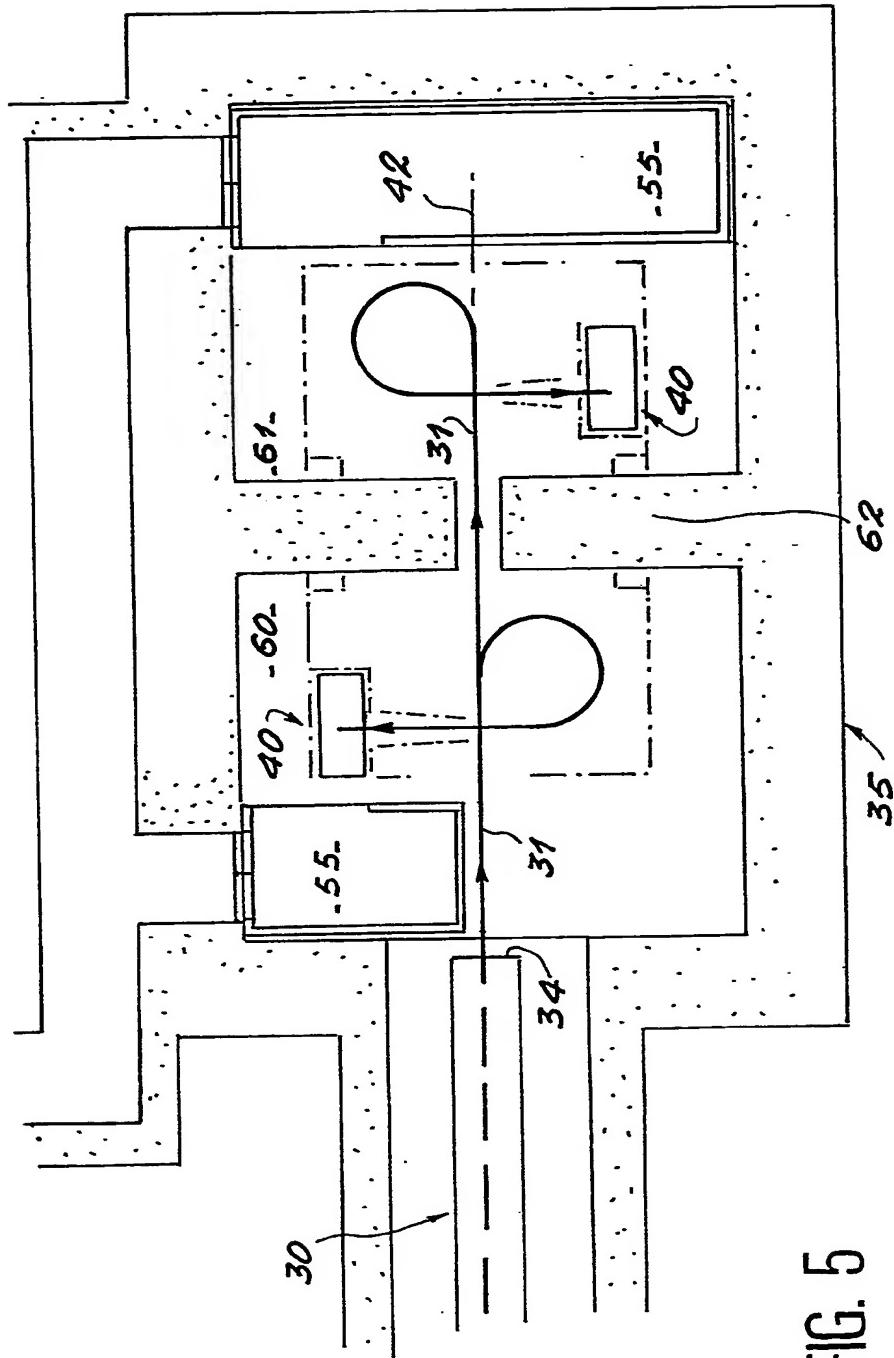


FIG. 5

## REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

2702663

N° d'enregistrement  
national

PRELIMINAIRE

FA 484040  
FR 9303152

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	US-A-4 870 287 (F.T. COLE ET AL.) * le document en entier *	1,3,5
A	---	2,6
Y	WO-A-90 11721 (LOMA LINDA UNIVERSITY MEDICAL CENTER) * abrégé * * page 15, ligne 20 - page 15, ligne 12 *	1,3,5
A,D	FR-A-2 679 727 (CGR MEV) * le document en entier *	1
A	CA-A-917 320 (ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED) * le document en entier *	1
A,D	US-A-3 379 911 (H.A. ENGE) * le document en entier *	2
A	FR-A-2 357 989 (CGR-MEV) * le document en entier *	2
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.S)
		A61N G21K
1		
		Date d'achèvement de la recherche
		2 Décembre 1993
		Examinateur
		Ferrigno, A
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		
T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ..... & : membre de la même famille, document correspondant		

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**